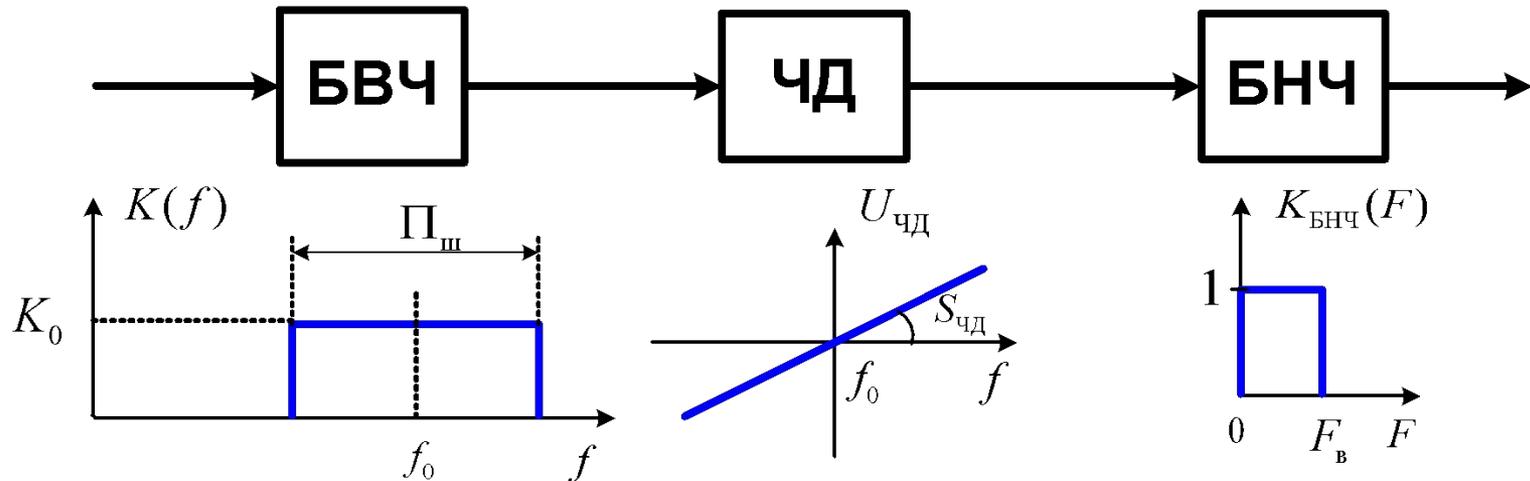


# Отношение сигнал-шум на выходе приёмника ЧМ сигнала



Условия расчёта  
отношения  
сигнал-шум:

- на входе ЧД  $a = U_c / U_{ш} \gg 1$
- гармоническая ЧМ сигнала  $f(t) = f_{\text{д}} + \Delta f_m \cos 2\pi F t$
- индекс модуляции  $\beta_{\text{ЧМ}} \gg 1 \Rightarrow$  полоса БВЧ  $\Pi_{\text{ш}} = 2 \Delta f_m$
- верхняя граничная частота БНЧ  $F_{\text{в}} = F_{\text{м}}$

**Сигнал** – математическое ожидание напряжения на выходе БНЧ при действии на входе приёмника смеси ЧМ сигнала и белого шума

**Шум** – случайная составляющая напряжения на выходе БНЧ при действии на входе приёмника смеси немодулированного сигнала и белого шума

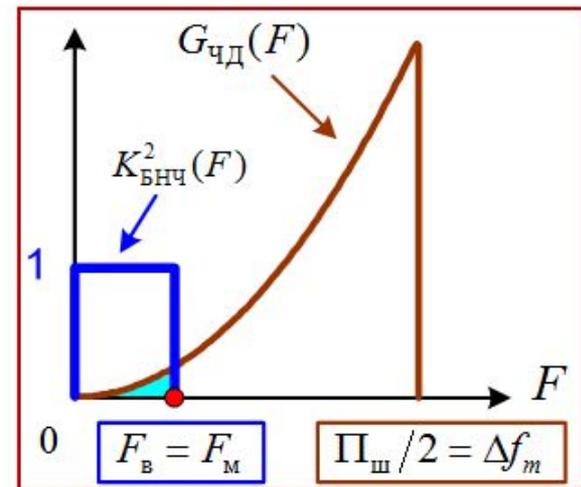
# Вывод формулы при $a \gg 1$

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{P_{\text{с. ВЫХ}}}{P_{\text{ш. ВЫХ}}} = \frac{U_{\text{с. ВЫХ}}^2}{2\sigma_{\text{ш. ВЫХ}}^2}$$

Сигнал  $u_{\text{с. ВЫХ}}(t) = \overline{K_{\text{БНЧ}} S_{\text{ЧД}}(f(t) - f_0)} \underset{\text{т.к. } a \gg 1}{\approx} K_{\text{БНЧ}} S_{\text{ЧД}}(f_c(t) - f_0) \Big|_{K_{\text{БНЧ}}=1} = S_{\text{ЧД}} \Delta f_m \cos 2\pi F_m t$

Амплитуда сигнала  $U_{\text{с. ВЫХ}} = S_{\text{ЧД}} \Delta f_m$

$$\begin{aligned} \text{Дисперсия шума } \sigma_{\text{ш. ВЫХ}}^2 &= \int_0^{\infty} G_{\text{БНЧ}}(F) dF = \\ &= \int_0^{\infty} K_{\text{БНЧ}}^2(F) G_{\text{ЧД}}(F) dF = \int_0^{F_M} G_{\text{ЧД}}(F) dF \approx \\ &\approx \int_0^{F_M} S_{\text{ЧД}}^2 \frac{F^2}{U_c^2} G_{U_{\text{ш}}}^s(F) dF = \int_0^{F_M} S_{\text{ЧД}}^2 \frac{F^2}{U_c^2} \cdot 2K_0^2 G_0 dF = \\ &= \frac{2K_0^2 G_0 S_{\text{ЧД}}^2}{U_c^2} \cdot \frac{F_M^3}{3} \end{aligned}$$



# Вывод формулы при $a \gg 1$ (окончание)

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{с. ВЫХ}}^2}{2\sigma_{\text{Ш. ВЫХ}}^2} = \frac{(S_{\text{ЧД}}\Delta f_m)^2}{2 \cdot \frac{2K_{\text{ЧД}}^2 G_0 S^2}{U_c^2} \cdot \frac{F_M^3}{3}} =$$

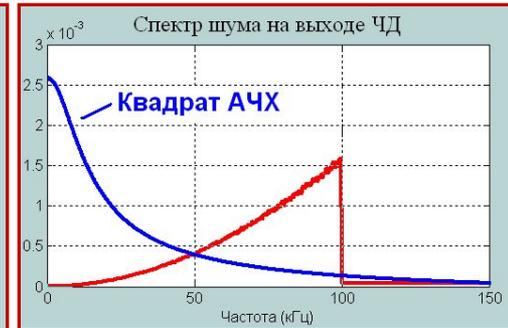
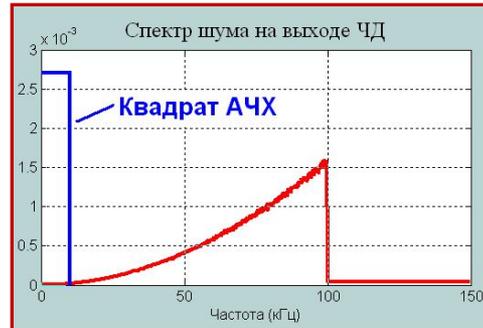
$$= \frac{(S_{\text{ЧД}}\Delta f_m)^2}{2 \cdot \frac{2K_{\text{ЧД}}^2 G_0 S^2}{U_c^2} \cdot \frac{F_M^3}{3}} \cdot \frac{\Delta f_m}{\Delta f_m} =$$

$$= 3 \frac{U_c^2/2}{K_{\text{ВВЧ}}^2 G_{\text{Ш}} \Pi_{\text{Ш}}} \beta_{\text{ЧМ}}^3 = 3q_{\text{ВХ}} \beta_{\text{ЧМ}}^3$$

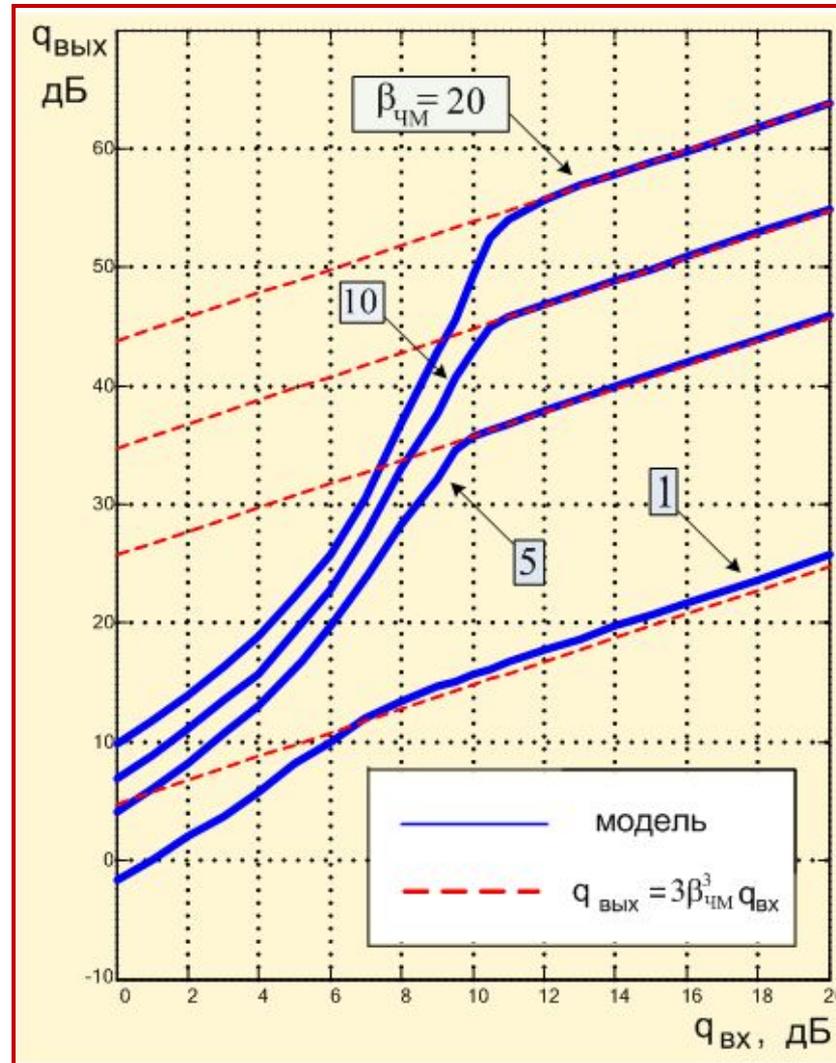
$$q_{\text{ВЫХ}} = 3q_{\text{ВХ}} \beta_{\text{ЧМ}}^3$$

(при  $a \gg 1$ )

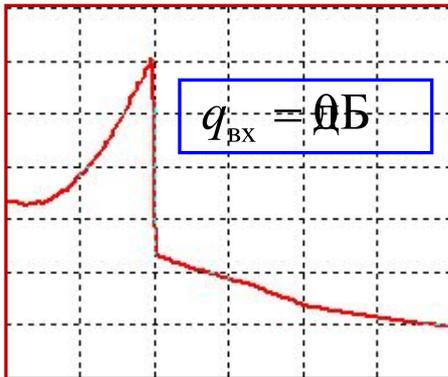
## Влияние формы АЧХ БНЧ



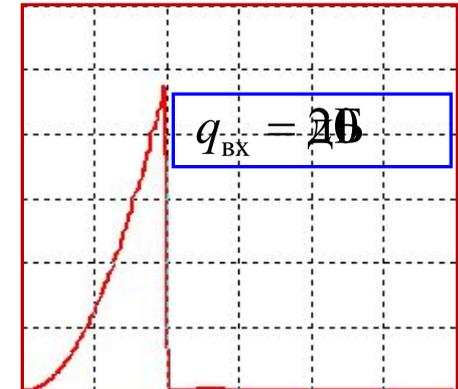
# Пороговые кривые $q_{\text{ВЫХ}} (q_{\text{ВХ}})$



Подпороговая область



Надпороговая область



Порог:

$$q_{\text{ВХ. П}} = 12 \text{ dB}$$

$$a_{\text{П}} = 3 - 5$$

# Методы повышения качества приёма ЧМ сигнала

## Задача

1. Выравнивание отношения сигнал-шум на выходе приёмника в интервале частот

2. Уменьшение порогового отношения сигнал-шум путём увеличения амплитуды несущей

3. Уменьшение порогового отношения сигнал-шум путём уменьшения мощности шума на входе ЧД

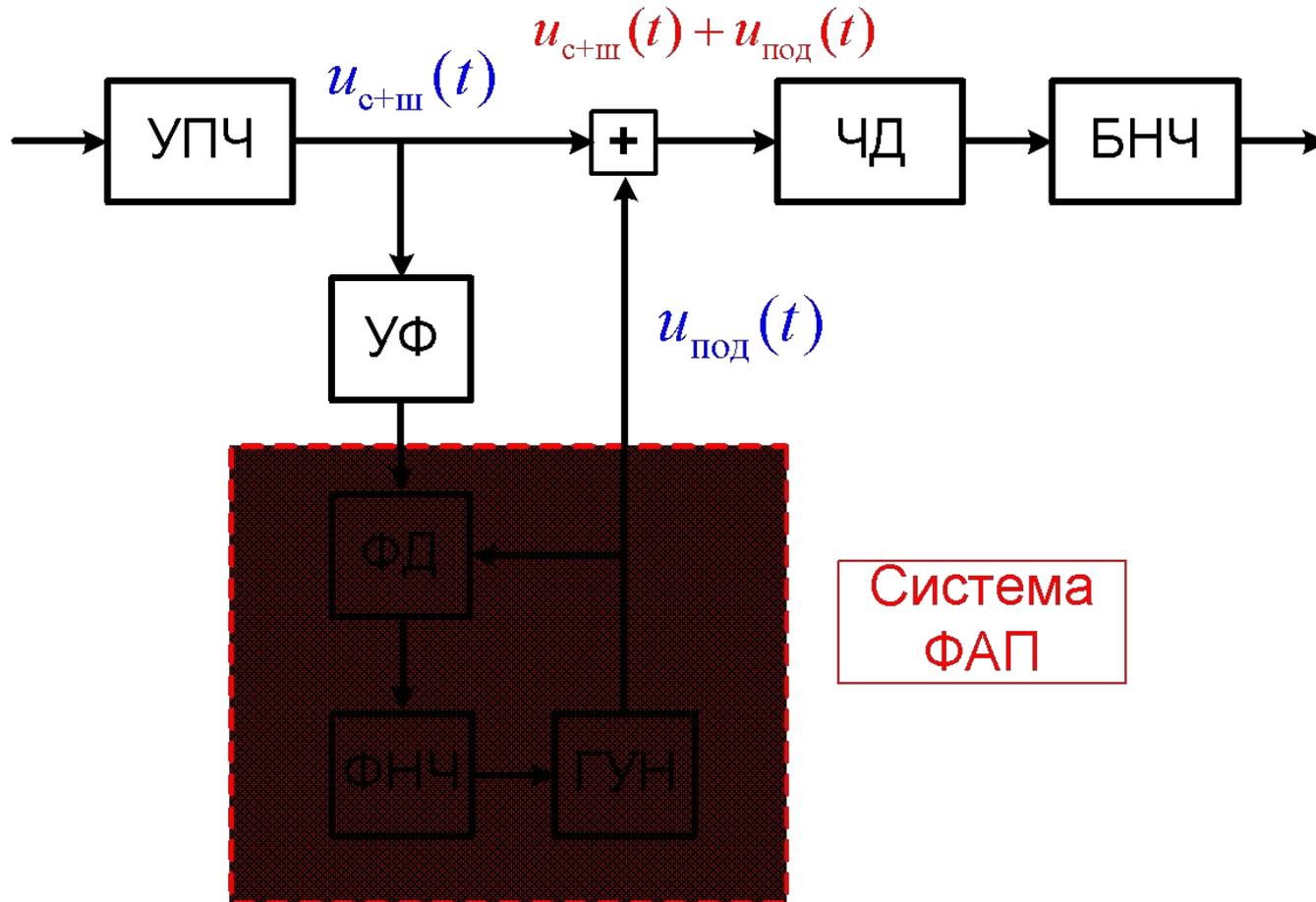
## Метод

Предыскажение модулирующего колебания и частотная коррекция демодулированного колебания

Синхронный приём (регенерация несущей)

Приём с обратной связью по частоте (ОСЧ)

# Метод синхронного приёма (регенерация несущей)

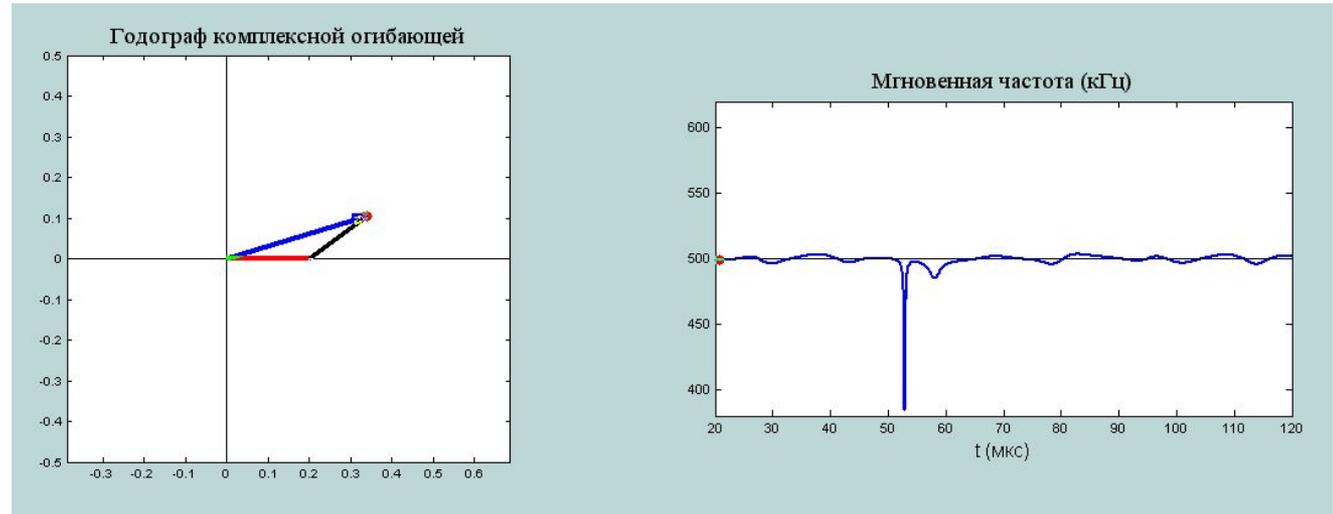


# Смесь сигнала без ЧМ и шума

Без  
«подкачки»

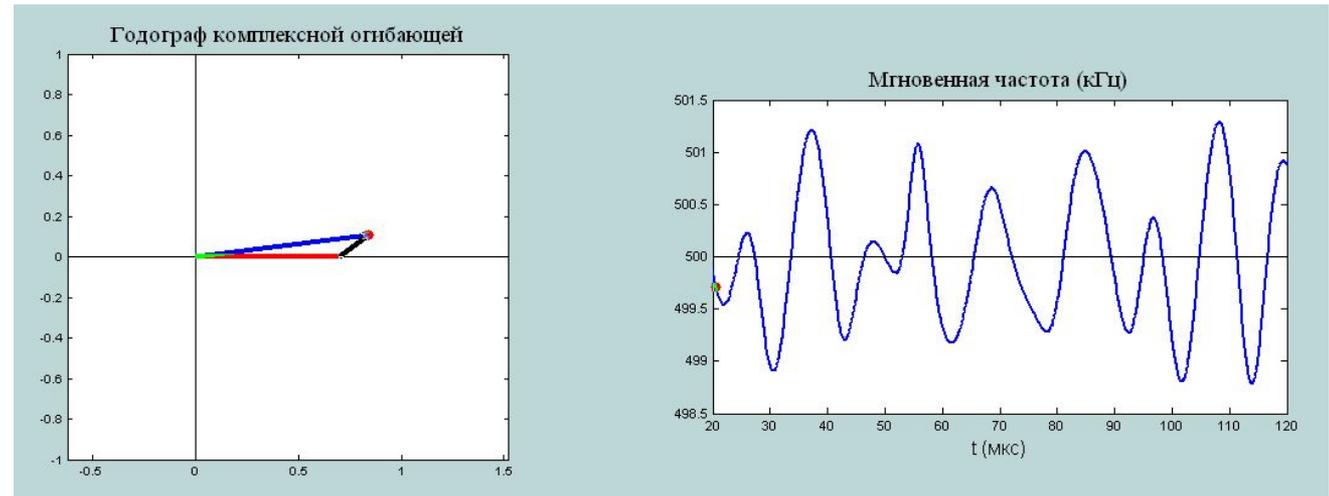
$$U_{\text{ш}} = 0,1$$

$$U_c = 0,2$$



С «подкачкой»

$$U_{\text{под}} = 0,5$$



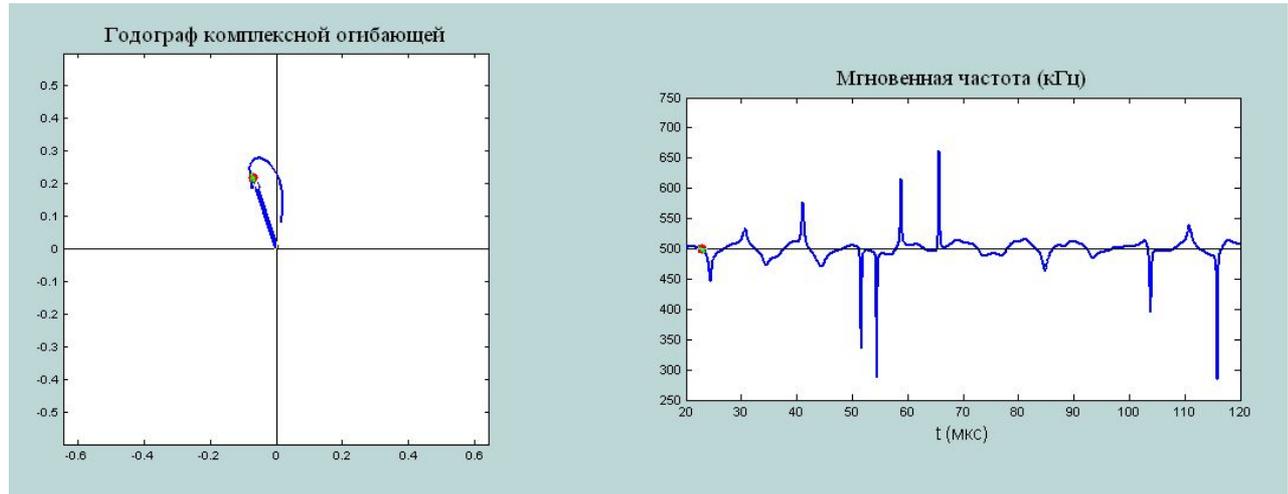
# Смесь ЧМ сигнала и шума

Без  
«подкачки»

$$U_{\text{ш}} = 0,1$$

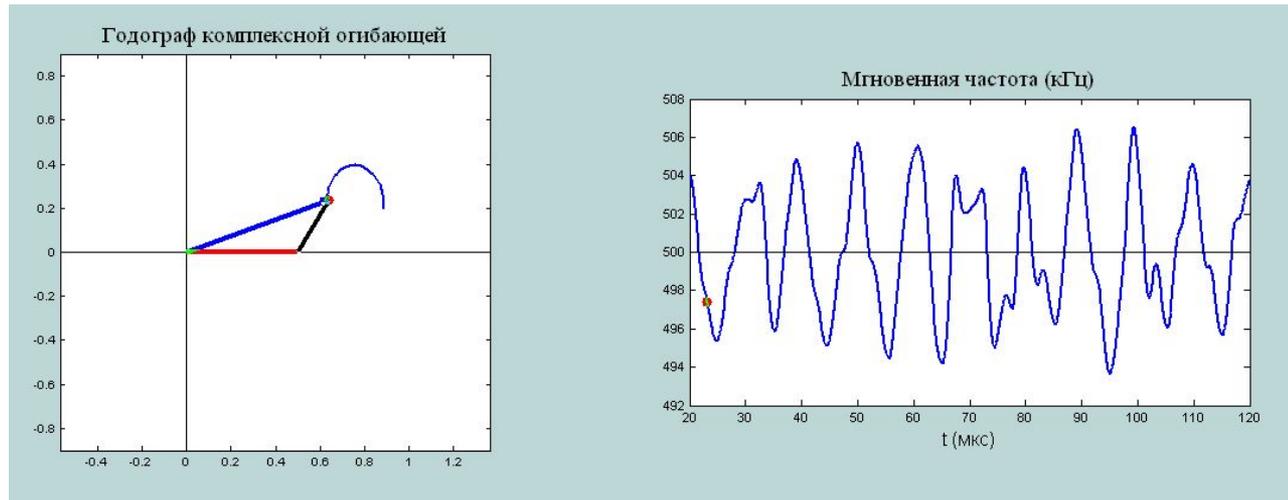
$$U_c = 0,2$$

$$\beta_{\text{ЧМ}} = \pi/2 \approx 1,6$$



С «подкачкой»

$$U_{\text{под}} = 0,5$$



# Нелинейные искажения закона ЧМ (гармоническая ЧМ)

Частота

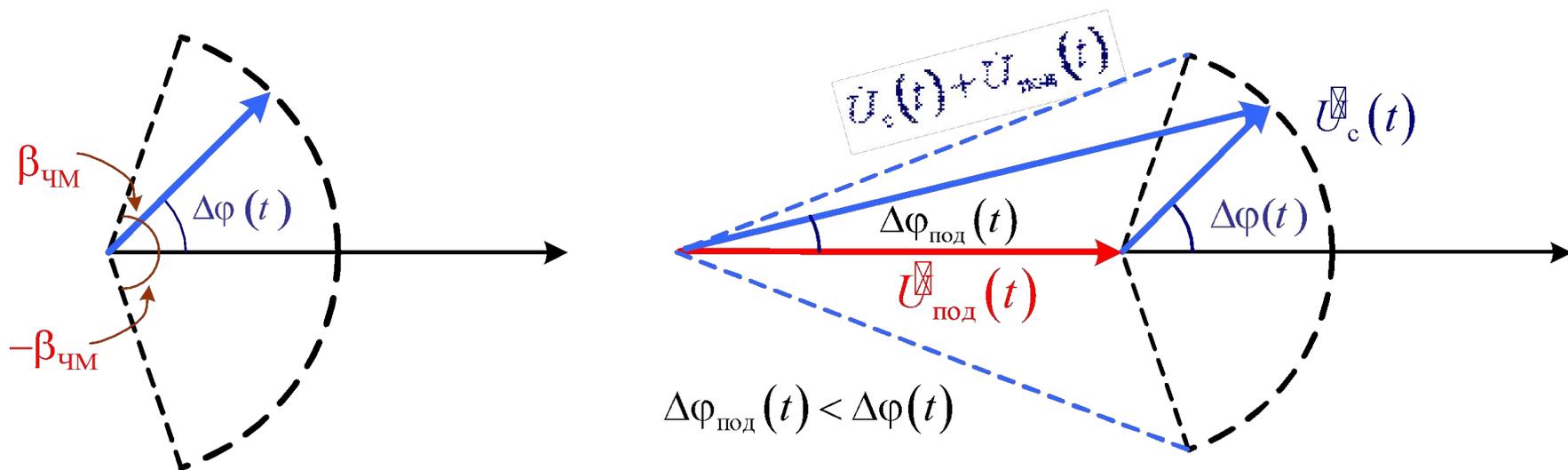
$$\omega(t) = \omega_{\text{ср}} + \Delta\omega_m \cos \Omega t$$

Полная фаза

$$\varphi(t) = \omega_{\text{ср}} t + \beta \sin \Omega t = \omega t + \Delta\varphi(t)$$

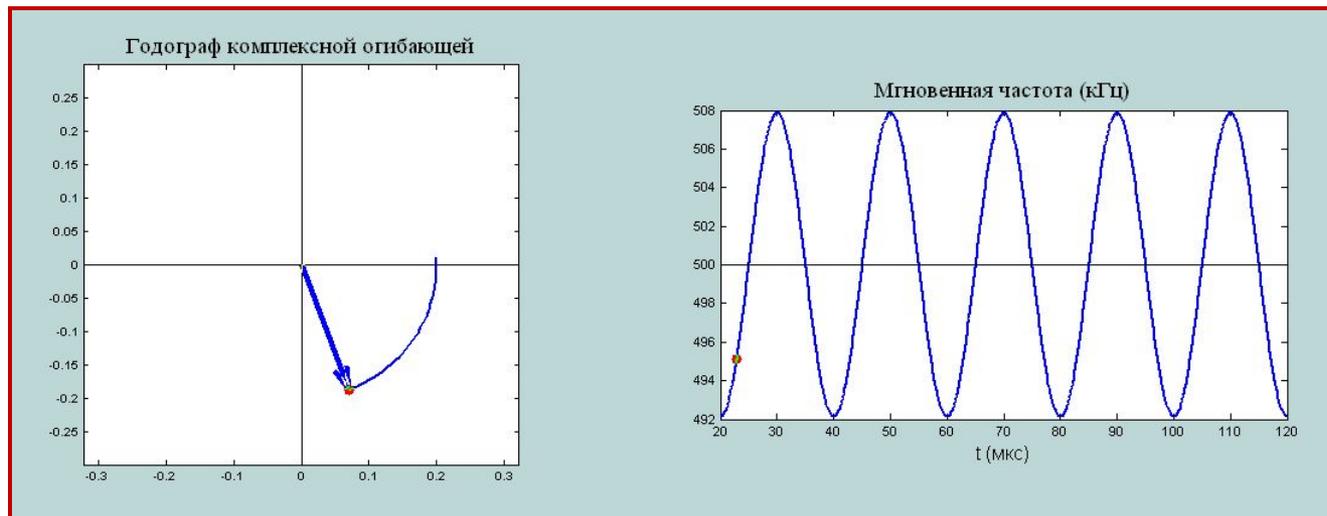
$$\Delta\varphi(t) = \Delta\varphi_{\text{max}} \sin \Omega t$$

$$\Delta\varphi_{\text{max}} = \beta$$

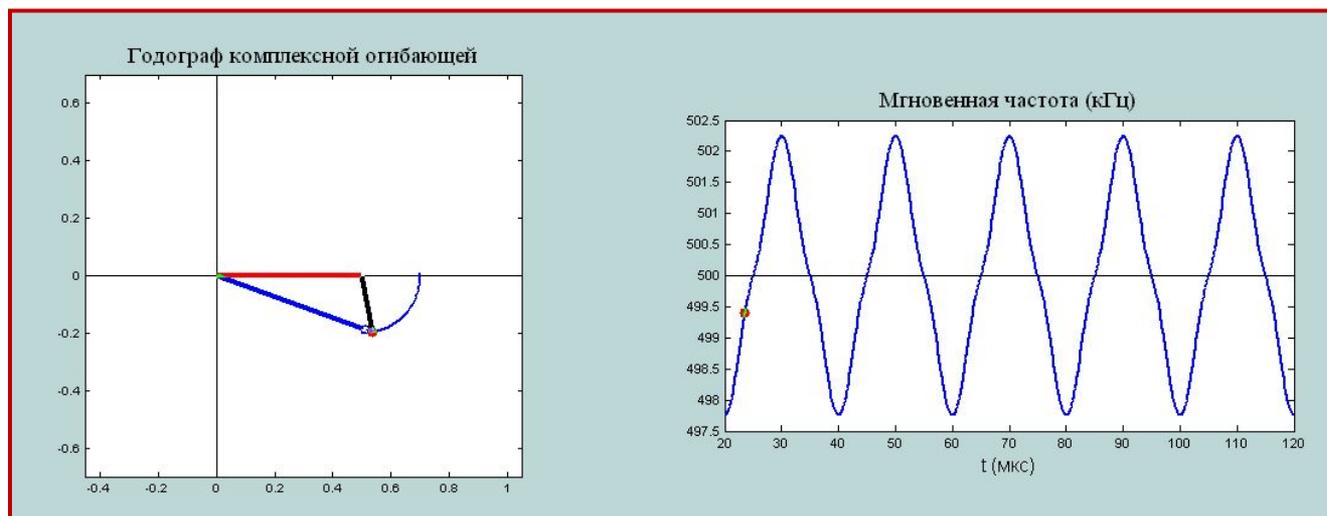


# ЧМ сигнал, $\beta_{\text{ЧМ}} = \pi/2$

Без  
«подкачки»



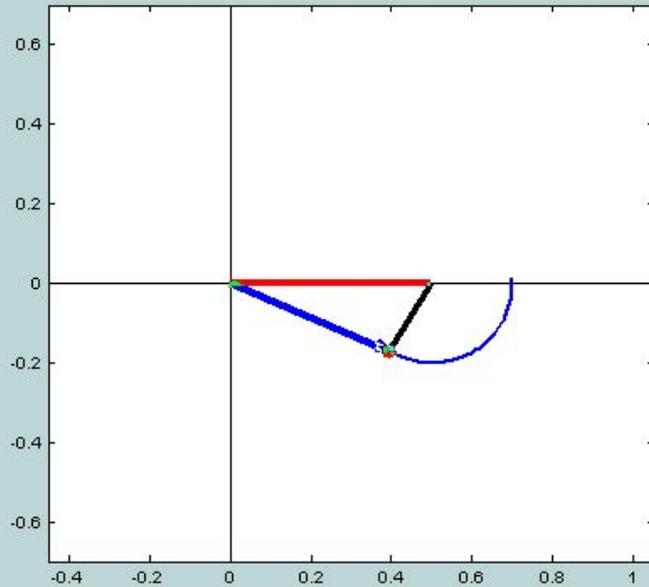
С  
«подкачкой»



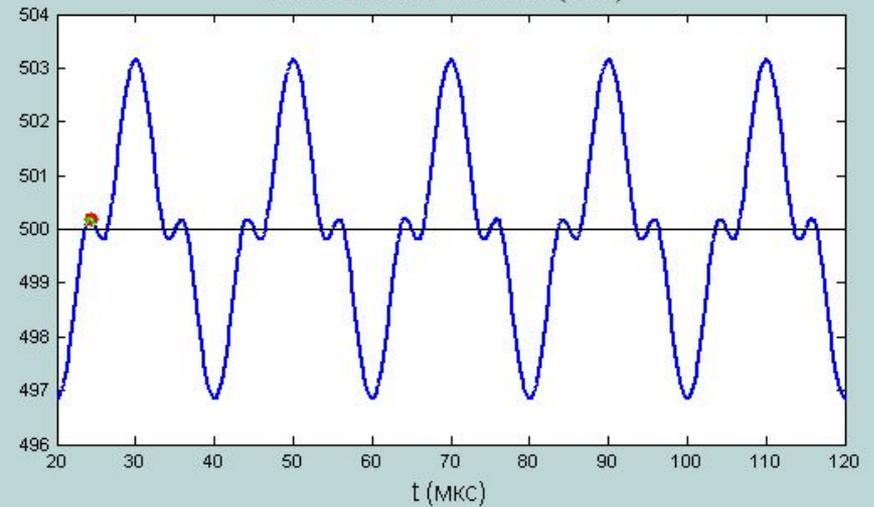
ЧМ сигнал,  $\beta_{\text{ЧМ}} > \pi/2$

С «подкачкой»

Годограф комплексной огибающей



Мгновенная частота (кГц)



# Приём с обратной связью по частоте (ОСЧ)

